

V.N. Bagrintseva, Doctor of agricultural sciences, I.N. Ivashenko, candidate of agricultural sciences

V.V. Dridiger, candidate of agricultural sciences,

All-Russian research scientific institute of corn, 14-a Ermolov str., placement 1, Pyatigorsk, Stavropol region, 357528, Russian Federation

*T.V. Grebennikova, head of the department, M.M. Vizirskaya, candidate of biological sciences, leading specialist
Mineral and chemical company EuroChem, 53 Dubinskaya str., building 6, Moscow, 115054, Russian Federation*

Scientific researches were carried out in 2022-2023 in the zone of sufficient moistening of the Stavropol region on ordinary chernozem. The effectiveness of foliar feeding of plants with water-soluble fertilizers from the MCC EuroChem of Aqualis brand was studied at registered mid-ripening corn hybrid Mashuk 390 MV (FAO 390) bred by ARRSI of corn. The purpose of the research was to study the effectiveness and economic payback of different combinations of Aqualis fertilizers applied on the leaves in comparison with root feeding of plants with ammonium nitrate. The experimental scheme consisted of 4 variants: 1) control without fertilizers; 2) ammonium nitrate 100 kg/ha in physical weight/ha at the phases of 6 and 8 leaves; 3) Aqualis 13-40-13 + ME (3.0 kg/ha) at 8 leaves + Aqualis 6-14-35 + 2MgO + ME (3.0 kg/ha) at 14 leaves; 4) Aqualis 18-18-18 + 3MgO + ME (3.0 kg/ha) at 5 leaves + Aqualis 13-40-13 + ME (3.0 kg/ha) at 8 leaves + Aqualis 6-14-35 + 2MgO + ME (3.0 kg/ha) at 14 leaves. Ammonium nitrate was applied at inter-row cultivation. After double fertilizing with ammonium nitrate, corn plants height in the flowering phase increased by 4 cm on average for 2022-2023. Foliar fertilizing with fertilizers Aqualis 13-40-13 + ME and Aqualis 6-14-35 + 2MgO + ME increased plant height by 4 cm and with additional fertilizing with fertilizer Aqualis 18-18-18 + 3MgO + ME increased plant height also by 5 cm. Fertilizing with ammonium nitrate gave an increase in corn grain yield on average for 2022-2023 0.76 t/ha (11.6%). A feeding scheme consisting of the use of fertilizer Aqualis 13-40-13 + ME (3.0 kg/ha) at 8 leaves + Aqualis 6-14-35 + 2MgO + ME (3.0 kg/ha) at 14 leaves is significantly increased the yield of corn grain, the increase was 0.77 t/ha (11.7%). When this feeding scheme was supplemented with fertilizer Aqualis 18-18-18 + 3MgO + ME at 5 leaves, the yield increased by 0.69 t/ha (10.5%). The payback for fertilizers use was greatest when using fertilizers Aqualis 13-40-13 + ME and Aqualis 6-14-35 + 2MgO + ME. Each ruble spent on fertilizers yielded 2.76 rubles of income on average for 2 years. The return on investment per ruble for feeding plants with three brands of fertilizers was significantly lower (1.76 rubles). The use of ammonium nitrate for double feeding of corn was unprofitable, by 1 ruble of costs received 0.74 ruble of income.

Keywords: corn, Aqualis fertilizers, foliar feeding, yield, costs, payback.

УДК: 63:54; 631.452; 631.811.1

DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.07

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА КУЛЬТУРАМИ ЗВЕНА ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ УДОБРЕНИЯ

А.В. Ерегин, к.с.-х.н., ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы «Вологодский»

160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Студенческая, д.11

e-mail: al.eregin2018@yandex.ru; тел.: (8172) 52 – 57 – 30

В стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение органоминеральной системы удобрения позволило увеличить продуктивность звена полевого севооборота: вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень в I ротации на 101% и во II ротации на 73% по отношению к варианту без удобрения. Положительный баланс азота был достигнут только при внесении его в дозе 300 кг д.в./га с удобрением и 45-50% от дозы с возвратом элемента азотфиксацией и урожаем соломы. Наиболее полно азот удобрений использовался при применении системы удобрения, состоящей из навоза, 50 т/га + N₁₅₀P₁₂₀K₂₂₅. В I ротации показатель составил 85% на неизвесткованном фоне и 100% на известкованном, аналогичные показатели во II ротации равны 51 и 43%. Агрономическая окупаемость азота была наибольшей в варианте с внесением навоза, 25 т/га в сочетании с N₇₅P₆₀K₁₁₃ и составила, в среднем по фонам кислотности, в I ротации – 32,1, во II – 21,4 кг з.е./кг д.в.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, урожайность, звено севооборота, баланс азота, коэффициент использования азота удобрений, агрономическая окупаемость.

Для цитирования: Ерегин А.В. Эффективность использования азота культурами звена полевого севооборота при различных системах удобрения// Плодородие. – 2024. – №4. – С. 31-37. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.07.

Увеличение коэффициента использования азота удобрений – одна из ключевых задач агрохимии. Решение данной задачи позволит, в первую очередь, сократить непроизводительные потери элемента питания (денитрификация, выщелачивание и т.д.), что поможет сохранить экологический баланс в агроэкосистеме и смежных с ней экотопах [6, 7, 14].

Кроме того, увеличение коэффициента использования азота из удобрений приведет к снижению дозы удобрений на единицу площади, и тем самым позволит более

рационально подходить к проблеме обеспечения азотом растений в разные фазы их роста и развития. Это приведет к увеличению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции (например, к возрастанию содержания сырого протеина), что дает как прямой, так и отложенный положительный экономический эффект [2, 5].

В ряде полевых опытов, проводимых на различных культурах и в разных почвенно-климатических зонах, установлено, что коэффициент использования азота из удобрений возрастает при увеличении общего уровня

плодородия почвы и количества вносимых элементов питания с удобрениями [5, 9, 10].

Однако, практически отсутствуют работы по сравнению уровня использования азота удобрений и количества возвращенного элемента в почву с побочной продукцией, при одних и тех же системах удобрения на разных фонах кислотности. Данный вопрос актуален для дерново-подзолистых почв северной части Нечерноземной зоны РФ, которые бедны минеральным азотом и органическим веществом, а ускоряющееся повышение кислотности почвы усиливает процесс обеднения элементами питания пахотного (корнеобитаемого) слоя [13].

Цель работы – сравнить эффективность использования азота растениями звена зернотравяного севооборота между двумя ротациями, при применении систем удобрения на разных уровнях кислотности дерново-подзолистой почвы.

Методика. Исследование проводили на основании данных полевого опыта с системами удобрения (фактор В), на двух фонах кислотности (фактор А): без известкования и с известкованием. Опыт был заложен в 2015 г. (начало I ротации).

В опыте исследовали пять вариантов систем удобрения: 1. Контроль (без удобрения) 2. Навоз, 50 т/га (органическая, равная по д.в. N₁₅₀P₁₂₀K₂₂₅) 3. N₁₅₀P₁₂₀K₂₂₅ (минеральная, равная по д.в. вар. 2) 4. Навоз, 25 т/га + N₇₅P₆₀K₁₁₃ (1-я органоминеральная, в сумме по д.в. равная вар. 2) 5. Навоз, 50 т/га + N₁₅₀P₁₂₀K₂₂₅ (2-я органоминеральная, двойная доза, по д.в. равная вар. 2). Таким образом, все системы удобрения были выравнены по количеству внесенного азота, различие лишь в том, что с минеральными или органическими удобрениями вносится элемент.

Объектом исследования было звено зернотравяного севооборота: викоовсяная смесь – озимая пшеница – ячмень.

Непосредственно под данные культуры вносили все удобрения и известковый материал (содержание CaCO₃ – 98%). Известь применяли в дозе по полной Нг, совместно с навозом КРС перед посевом викоовсяной смеси. Во II ротации севооборота известкование не проводили ввиду того, что на ранее известкованном фоне в конце I ротации реакция среды была близка к нейтральной (в среднем по опыту рН_{кол} = 5,7 ед.) и несколько увеличилась к 2022 г., достигнув рН_{КCl} 5,5 ед. [4].

На не известкованных вариантах опыта рН_{КCl} почвы во II ротации составил в среднем 5,0 ед. Всю дозу азота, содержащегося в навозе КРС вариантов 2, 4 и 5, вносили

один раз за ротацию севооборота, а азот минеральных удобрений распределяли в соответствии с биологическими требованиями вышеуказанных культур.

Коэффициент использования азота в вариантах опыта растениями звена севооборота рассчитывали разностным методом, по формуле:

$$КИУ_N = \left(\frac{В_n - В_0}{N} \right) \cdot 100,$$

где КИУ_N – коэффициент использования азота из удобрения; В_n – вынос азота урожаем в удобренном варианте; В₀ – вынос азота урожаем в контрольном (неудобренном) варианте; N – доза азота; 100- коэффициент перевода в %.

Количество отчужденного с урожаем азота из почвы принимали во всех вариантах опыта равным количеству азота, вынесенного в контрольном варианте.

Расчет возврата азота в почву проводили по следующим показателям: возврат с соломой зерновых; возврат элемента в результате азотфиксации викоовсяной смеси. По ряду источников, количество биологического азота, накопленного в пожнивно-корневых остатках (ПКО) однолетних зернобобовых смесей, колеблется от 30 до 39% от выноса азота культурой [1, 3].

В наших расчетах использовали коэффициент азотфиксации викоовсяной смеси, равный 0,3 (30% от выноса).

Азот в растениях определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 13496.4-93.

Площадь опытных делянок 100 м², учетная площадь не менее 80 м². Расположение – систематическое.

Агрохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы перед закладкой опыта: рН_{КCl} 5,1-5,2 ед., гидролитическая кислотность – 3,40-4,14 ммоль(экв.)/100 г, сумма поглощенных оснований – 10,5-12,8 ммоль(экв.)/100 г, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) – 251-296 мг/кг, подвижного калия (по Кирсанову) – 116-148 мг/кг, С_{орг.} – 1,50-1,86 %. Данные аналогичных параметров в конце I ротации севооборота представлены в работе [8].

Статистическую обработку данных учета урожайности проводили методом дисперсионного анализа двухфакторного опыта при помощи программного обеспечения MS Excel 2010.

Условия погоды в период вегетации во время проведения опыта представлены в таблице 1.

1. Погодные условия вегетационного периода*

Месяц	Показатель	Викоовсяная смесь		Озимая пшеница		Ячмень		В среднем за ротацию севооборота		Среднегодовое [11]
		2015 г.	2020 г.	2016 г.	2021 г.	2017 г.	2022 г.	2015-2017 г.	2020-2022 г.	
Май	t, °C	13,5	9,5	15,9	12,5	6,5	7,9	12,0	10,0	10,7
	Σ W, мм	82	135	29	63	44	64	52	87	48
	ГТК	2,0	4,6	0,6	1,6	2,2	2,6	1,6	2,9	1,5
Июнь	t, °C	15,5	15,9	16,7	19,9	12,3	15,9	14,8	17,2	15,2
	Σ W, мм	45	95	52	32	129	67	75	65	63
	ГТК	1,0	2,0	1,0	0,5	3,5	1,4	1,8	1,3	1,4
Июль	t, °C	15,3	17,4	21,6	19,9	16,2	19,2	17,7	18,8	17,6
	Σ W, мм	55	141	48	28	125	82	76	84	75
	ГТК	1,2	2,6	0,7	0,5	2,5	1,4	1,5	1,5	1,4
Август	t, °C	14,6	14,9	15,8	19,4	16,6	19,4	15,7	17,9	15,1
	Σ W, мм	57	71	102	28	42	28	67	42	60
	ГТК	1,3	1,5	2,1	0,4	0,8	0,4	1,4	0,8	1,3
Среднее за вегетацию	t, °C	14,7	14,4	17,5	17,9	12,9	15,6	15,0	16,0	14,7
	Σ W, мм	60	111	58	38	85	60	67,7	69,7	62
	ГТК	1,4	2,7	1,1	0,8	2,3	1,5	1,6	1,7	1,4

*2015-2017 г. – I ротация севооборота, 2020 – 2023 г. – II ротация.

Погодные условия вегетационного периода между ротациями различались незначительно, однако, характеризовались более высокими среднесуточными

температурами и количеством осадков по сравнению с базовым периодом. Следует отметить, что по культурам наименьшую разницу в погодных условиях

вегетационного периода наблюдали при выращивании озимой пшеницы.

Результаты и их обсуждение. Урожайность культур звена севооборота изменялась по ротациям (табл. 2).

В разрезе культур звена севооборота наибольший положительный эффект от снижения кислотности почвы (известкования) в I ротации проявился на ячмене. Увеличение урожайности зерна на известкованном фоне по

отношению к фону без извести в среднем по опыту составило 32%. Наименьшее повышение урожайности при внесении CaCO_3 в I ротации отмечено на викоовсяной смеси – всего 6% по отношению к фону без известкования.

Во II ротации, увеличение урожайности культур звена севооборота от известкования было на уровне тенденции и колебалось в пределах 4-5%.

2. Влияние систем удобрения и известкования на урожайность культур звена севооборота, ц/га

Фактор В – системы удобрения		Фактор А – известкование							
		Викоовсяная смесь (зел. масса)		Озимая пшеница (зерно)		Ячмень (зерно)		В сумме за звено севооборота, ц.з.е/га	
		I	II	I	II	I	II	I	II
1. Контроль (без удобрения)	б/и	198,9	225,4	30,4	21,1	10,1	14,7	68,3	67,9
	с/и	205,3	230,4	36,8	21,7	12,4	16,2	77,9	69,6
2. Навоз, 50 т/га ($\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$)	б/и	255,9	281,4	44,7	22,8	11,5	17,9	92,0	80,4
	с/и	262,4	296,7	55,5	23,1	15,8	20,5	108,1	84,9
3. $\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$	б/и	275,2	338,1	55,4	22,9	15,5	21,4	109,5	91,8
	с/и	308,2	355,0	65,6	23,4	20,7	21,6	129,4	94,6
4. Навоз, 25 т/га + $\text{N}_{75}\text{P}_{60}\text{K}_{113}$	б/и	283,0	372,6	60,1	22,1	13,4	26,0	113,1	100,2
	с/и	303,0	373,0	68,8	24,4	18,0	24,9	129,2	101,5
5. Навоз, 50 т/га + $\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$	б/и	392,2	455,8	64,6	24,2	17,9	27,2	137,4	115,2
	с/и	410,9	484,5	75,6	25,7	23,5	28,7	156,6	122,2
В среднем по фактору А	б/и	281,0	334,7	51,0	22,6	13,7	21,4	104,1	91,1
	с/и	298,0	347,9	60,5	23,7	18,1	22,4	120,2	94,6
НСР: фактора А		16,3	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	2,5	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	0,6	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	4,9	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$
фактора В		25,8	44,3	4,4	2,7	1,0	4,1	7,7	10,3
част. различий		36,4	62,7	6,2	3,8	1,4	6,1	10,9	14,5

Примечание. б/и – без известкования; I ротация pH_{KCl} 5,1-5,2 ед., II ротация pH_{KCl} 4,9-5,1 ед.; с/и – с известкованием:

I ротация pH_{KCl} 5,7-5,9 ед., II ротация pH_{KCl} 5,5-5,7 ед. (здесь и в табл. 3-6).

Что касается систем удобрения, то как в I, так и во II ротации севооборота наибольшую статистически значимую прибавку урожайности обеспечило применение 2-й органоминеральной системы удобрения (навоз, 50 т/га + $\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{225}$). Среди культур звена севооборота наибольшую прибавку урожайности от указанной системы удобрения в I ротации фиксировали на озимой пшенице, где она составила 108% по отношению к контрольному варианту (без удобрения), в среднем по фоновым кислотности.

Аналогичный показатель во II ротации составил 106% и был при учете урожайности зеленой массы викоовсяной смеси.

Для сравнения действия изучаемых систем удобрения на разных фонах кислотности в целом за звено ротации севооборота, урожайность культур выражали в зерновых единицах. Для озимой пшеницы и ячменя коэффициент пересчета брали равным 1, а для зеленой массы викоовсяной смеси – 0,14 [12].

Общая тенденция к увеличению продуктивности звена севооборота совпадает с аналогичной в разрезе культур. Так, в обеих ротациях севооборота известкование обеспечило прибавку продуктивности, но в I ротации она составила 15%, по отношению к фону без применения CaCO_3 и была статистически достоверной, а во II всего 4% и фиксировалась на уровне тенденции.

Как в I, так и во II ротациях наибольшую продуктивность звена севооборота отмечали в 5-м варианте (2-я органоминеральная система удобрения). В среднем, по фоновым кислотности, прибавка продуктивности по отношению к контролю в I ротации составила 99%, а во II –

74%, и в обеих ротациях прибавка была статистически достоверной.

Что касается влияния фона кислотности и системы удобрения на содержание азота в товарной и нетоварной частях растений звена севооборота, то здесь ситуация складывалась несколько сложнее (табл.3).

Так, в I ротации известкование привело к более высокому накоплению азота в зерне озимой пшеницы и ячменя, по сравнению с неизвесткованным фоном, и практически не отразилось на содержании в зеленой массе викоовсяной смеси.

Во II ротации севооборота повышение уровня кислотности на известкованном фоне в среднем за три года на 0,2 ед. привело к небольшому снижению содержания N как в товарной, так и нетоварной частях культур звена севооборота, по сравнению с показателем на неизвесткованном фоне.

Также отмечено, что как в I так и во II ротациях, наибольшее содержание азота в товарной части растений звена севооборота фиксировали при применении 2-й органоминеральной системы удобрения (5-й вариант). Причем, если на фоне без известкования (б/и) система удобрения была лидирующей по накоплению азота, то фон известкования несколько «сглаживал» различие между вариантами опыта как в первой, так и во второй ротациях севооборота. Данный факт подтверждает благоприятное влияние снижения кислотности почвы на действие систем удобрения, даже на слабокислом фоне.

Влияние фона кислотности на хозяйственный вынос азота в звене севооборота менялось в зависимости от ротации (табл.4).

3. Содержание азота в основной и побочной продукции культур звена севооборота (% с.в.)

Фактор В – системы удобрения		Фактор А – известкование				
		Викоовсяная смесь	Озимая пшеница		Ячмень	
			зел. масса	зерно	солома	зерно
I ротация						
1. Контроль (без удобрения)	б/и	1,69	2,02	0,77	1,57	0,77
	с/и	1,57	2,04	0,68	1,71	0,75
2. Навоз, 50 т/га (N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅)	б/и	1,78	1,91	0,76	1,63	0,74
	с/и	1,69	2,04	0,75	1,60	0,76
3. N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	1,78	1,99	0,65	1,70	0,81
	с/и	1,78	2,26	0,80	1,92	0,73
4.Навоз, 25 т/га+ N ₇₅ P ₆₀ K ₁₁₃	б/и	2,05	2,04	0,82	1,69	0,64
	с/и	1,90	2,12	0,68	1,78	0,76
5. Навоз, 50 т/га + N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	2,11	2,50	0,84	1,83	0,73
	с/и	2,46	2,51	0,66	1,92	0,66
В среднем по фактору А	б/и	1,88	2,09	0,77	1,68	0,74
	с/и	1,88	2,19	0,71	1,79	0,73
II ротация						
1. Контроль (без удобрения)	б/и	2,02	2,65	0,65	1,19	0,73
	с/и	1,92	2,51	0,58	1,67	0,74
2. Навоз, 50 т/га (N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅)	б/и	1,83	2,88	0,61	1,47	0,54
	с/и	1,93	2,51	0,52	1,43	0,58
3. N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	1,89	2,71	0,57	1,57	0,62
	с/и	1,84	2,85	0,56	1,37	0,64
4.Навоз, 25 т/га+ N ₇₅ P ₆₀ K ₁₁₃	б/и	2,06	2,64	0,44	1,26	0,61
	с/и	1,76	2,64	0,52	1,20	0,49
5. Навоз, 50 т/га + N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	2,11	2,70	0,70	1,80	0,71
	с/и	1,78	2,87	0,49	1,48	0,68
В среднем по фактору А	б/и	1,98	2,72	0,59	1,46	0,64
	с/и	1,85	2,68	0,53	1,43	0,63

4. Влияние систем удобрения и фона кислотности на хозяйственный вынос азота растениями звена севооборота и коэффициент использования, кг/га

Фактор В – системы удобрения		Фактор А – известкование									
		Викоовсяная смесь (з/м)		Озимая пшеница (зерно + солома)		Ячмень (зерно +солома)		Всего		КИУ _N , %	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1. Контроль (без удобрений)	б/и	67,2	91,1	88,2	72,0	27,4	34,0	182,8	197,1	-	-
	с/и	64,5	88,5	98,2	66,1	33,1	37,4	195,8	192,0	-	-
2. Навоз, 50 т/га (N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅)	б/и	91,1	103,0	124,8	79,7	30,9	37,0	246,8	219,7	43	15
	с/и	88,7	114,5	153,3	69,1	40,9	38,2	282,9	221,8	58	20
3. N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	98,0	127,8	149,3	74,2	44,8	53,3	292,1	255,3	73	39
	с/и	109,7	130,6	198,0	79,4	58,3	46,6	366,0	256,6	113	43
4.Навоз, 25 т/га + N ₇₅ P ₆₀ K ₁₁₃	б/и	116,0	153,5	180,0	65,7	34,6	52,5	330,6	271,7	99	50
	с/и	115,1	131,3	188,3	76,7	49,4	40,3	352,8	248,3	105	38
5. Навоз, 50 т/га + N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₂₂₅	б/и	165,5	192,3	220,9	83,2	51,2	74,5	437,6	350,0	85	51
	с/и	202,2	172,5	230,3	84,6	63,3	63,2	495,8	320,3	100	43
В среднем по фактору А	б/и	107,6	133,5	152,6	75,0	37,8	50,3	298,0	258,8	75	39
	с/и	116,0	127,5	173,6	75,2	49,0	45,1	338,7	247,8	94	36

Так, в I ротации, вынос азота, в сумме по культурам звена севооборота на известкованном фоне был на 14% выше, чем на неизвесткованном. А во II ротации, напротив, фон известкования способствовал меньшему хозяйственному выносу азота, чем неизвесткованный фон. Возможно, это связано с тем, что содержание азота в растениях звена севооборота было ниже на фоне известкования, чем на неизвесткованном фоне (см. табл. 3).

Наибольший хозяйственный вынос азота растениями также менялся по ротациям севооборота. Так, в I ротации наибольшую долю от общего вынесенного азота, в среднем по фонам кислотности почвы, фиксировали для озимой пшеницы – 51%. Аналогичный показатель во II ротации составил 52 % при выращивании викоовсяной смеси.

Коэффициент использования азота удобрений (КИУ_N), рассчитанный разностным методом, в среднем по опыту, был выше в I ротации севооборота в 2,2 раза, чем во II. Различие между фонами кислотности по уровню КИУ_N в первой ротации было более

значительным, чем во второй, и составило в среднем по опыту +19% (в абсолютных единицах).

Также следует отметить, что в I ротации севооборота, в вариантах 3 и 4 (минеральная и 1-я органоминеральная системы удобрения) КИУ_N на фоне известкования был выше 100%, а это значит, что часть азота, пошедшего на формирование продукции, была «взята» из почвенного запаса. Это свидетельствует о том, что для получения продуктивности звена севооборота, в среднем за 3 года, не менее 45 ц з.е/га, внесения 150 кг д.в/га азота с удобрениями недостаточно.

Наиболее близкий к оптимальному значению КИУ_N отмечали во 2-й органоминеральной системе удобрения (5-й вариант), в которой на фоне известкования использование растениями азота было на уровне 100%. Таким образом, весь азот удобрений участвовал в создании урожая, одновременно сохраняя почвенные запасы без существенных потерь.

Что касается КИУ_N во II ротации севооборота, то роль фона кислотности была незначительна. Причем, в вариантах с органической и минеральной системами

удобрения (2- и 3-й варианты), фон известкования положительно отразился на значении КИУ_N, увеличив в первом случае его на 5%, а во втором на 4% (в абсолютных единицах). При сочетании органических и минеральных удобрений (4 и 5 варианты), напротив, значение КИУ_N на неизвесткованном фоне было выше, чем на известкованном.

Таким образом, можно предположить, что наибольший эффект от известкования, с точки зрения коэффициента использования азота удобрений, наблюдается в первые годы после внесения СаСО₃, а затем его действие снижается, но увеличивается действие системы удобрения.

Применение разностного метода расчета коэффициента использования питательных веществ, несмотря на его простоту, требует корректировок, так как принимаемое за константу значение выноса элемента из почвы в варианте без удобрений может значительно колебаться, в зависимости от уровня плодородия почвы, создаваемого как применением систем удобрения, так и известкованием.

Поэтому для более ясного понимания влияния фона кислотности и систем удобрения на азотное питание растений, посчитали баланс азота в почве и балансовый коэффициент (К_б), представляющий собой отношение поступления элемента к его выносу (табл. 5).

5. Влияние систем удобрения и известкования на баланс азота в звене севооборота, кг/га

Фактор В – системы удобрения			Фактор А – известкование					Баланс+/-, кг/га	К _б , %
			Содержание в почве Нлг*	Поступление N, кг/га					
				с орг. удобрени- ями	с мин. удобрени- ями	с азотфик- сацией	с соло- мой		
I ротация									
1. Контроль (без удобрения)	б/и	41,9	0	0	20,2	49,1	69,3	-113,5	-
	с/и		0	0	19,3	48,5	67,8	-128,0	-
2. Навоз, 50 т/га	б/и	41,0	150	0	27,3	66,1	243,4	-3,4	99
	с/и		150	0	26,6	75,1	251,7	-31,2	89
3. NPK	б/и	40,5	0	150	29,4	76,6	256,0	-36,1	88
	с/и		0	150	32,9	94,7	277,6	- 88,4	76
4.Навоз, 25 т/га+ ½ NPK	б/и	41,8	75	75	34,8	89,6	274,4	- 56,2	83
	с/и		75	75	34,5	84,7	269,2	- 83,6	76
5. Навоз, 50 т/га + NPK	б/и	46,7	150	150	49,7	105,1	454,8	+17,2	104
	с/и		150	150	60,6	91,7	452,3	- 43,5	91
В среднем по фактору А	б/и	42,4	150	150	32,3	77,3	259,6	-38,4	94
	с/и		150	150	34,8	78,9	263,7	-74,9	83
II ротация									
1. Контроль (без удобрения)	б/и	42,6	0	0	27,3	41,4	68,7	- 128,4	-
	с/и		40,2	0	0	26,5	37,4	63,9	- 128,1
2. Навоз, 50 т/га	б/и	47,2	150	0	30,9	38,4	219,3	- 0,4	100
	с/и		41,9	150	0	34,4	36,3	220,7	- 1,1
3. NPK	б/и	40,6	150	0	38,3	44,7	233,0	- 22,3	91
	с/и		40,3	150	0	39,2	43,7	232,9	- 23,7
4.Навоз, 25 т/га+ ½ NPK	б/и	47,8	75	75	46,1	41,7	237,8	- 33,9	88
	с/и		43,7	75	75	39,4	38,7	228,1	- 20,2
5. Навоз, 50 т/га + NPK	б/и	46,4	150	150	57,7	60,4	418,1	+ 68,1	119
	с/и		49,8	150	150	51,7	50,2	401,9	+ 81,6
В среднем по фактору А	б/и	44,9	150	150	40,1	45,3	235,4	- 23,4	91
	с/и		43,2	150	150	38,2	41,3	229,5	- 18,3

Примечание. І ротация N_{лг} – до закладки опыта, ІІ ротация – перед посевом викоовсянной смеси.

В среднем по опыту баланс азота в обеих ротациях сложился отрицательный. Фон кислотности почвы менее влиял на баланс во ІІ ротации, когда различие между известкованными и не известкованными вариантами опыта в среднем составило всего 22%, а в І ротации севооборота – 49%.

Следует отметить, что как в І, так и во ІІ ротациях севооборота, наибольшую долю возврата азота в почву обеспечило применение удобрений. Так, в І ротации, в среднем по вариантам опыта, на слабокислом фоне реакции почвенной среды (без известкования) за счет удобрений возмещалось 50% выноса азота урожаем, а на фоне известкования – 44%. Во ІІ ротации севооборота аналогичные показатели составили 57 и 60%.

Балансовый коэффициент использования азота (К_б) был положительным (>100%) в обеих ротациях звена севооборота только в варианте с применением 2-й органоминеральной системы удобрения (5-й вариант). Причем, если в І ротации положительное значение отмечали, только на неизвесткованном фоне, то во ІІ ротации – на обоих фонах кислотности.

Во ІІ ротации севооборота К_б был выше, чем в І ротации. Скорее всего, это связано с меньшим выносом азота из почвы культурами звена севооборота, по сравнению с аналогичным показателем в І ротации. Таким образом, при меньшем поступлении элемента с удобрениями, побочной продукцией и азотфиксацией, возмещение выноса азота выше. Однако, коэффициент использования азота удобрения все равно остается ниже, по сравнению с показателем в І ротации севооборота.

В таблице 6 представлены данные по эффективности использования азота в звене севооборота в зависимости от системы удобрения и фона кислотности.

Наименьшее различие в вариантах опыта, как между фонами кислотности, так и между ротациями севооборота, было в показателе выход з.е/кг вынесенного азота. Следует отметить, что данный показатель незначительно колебался и по вариантам систем удобрения. Это указывает на то, что значение данного показателя зависит в большей степени от биологических особенностей сортов культур, чем от уровня плодородия почвы.

6. Эффективность использования азота в звене севооборота

Фактор В – системы удобрения		Фактор А – известкование					
		кг з.е/кг вынесенного азота		кг з.е/кг внесенного с удобрениями азота		окупаемость азота, кг з.е/кг д.в.	
		I	II	I	II	I	II
1. Контроль (без удобрения)	б/и	37,4	34,4	-	-	-	-
	с/и	39,8	36,3	-	-	-	-
2. Навоз, 50 т/га	б/и	37,3	36,6	61,3	53,6	15,8	8,4
	с/и	38,2	38,3	72,0	56,6	20,1	10,2
3. NPK	б/и	37,5	36,0	73,0	61,2	27,4	16,0
	с/и	35,4	36,9	86,3	63,0	34,4	16,6
4. Навоз, 25 т/га + ½ NPK	б/и	34,2	36,9	75,4	66,8	29,9	21,6
	с/и	36,6	40,9	86,1	67,7	34,2	21,2
5. Навоз, 50 т/га + NPK	б/и	31,4	32,9	45,8	38,4	23,0	15,8
	с/и	31,6	38,2	52,2	40,7	26,2	17,5
В среднем по фактору А	б/и	35,6	35,4	63,9	55,0	24,0	15,5
	с/и	36,3	38,1	74,2	57,0	28,7	16,4

Выход зерновых единиц в звене севооборота различался по ротациям в зависимости от внесенного азота удобрений. Так, в I ротации севооборота он в среднем по опыту составил 69,1 кг з.е/кг N, а во II на 13,1 кг з.е/кг N меньше. Таким образом, в I ротации севооборота азот удобрений использовался более активно для формирования урожая культур звена севооборота, чем во второй. Возможно, это связано с различными погодными условиями в период вегетации при выращивании растений.

Что касается влияния фона кислотности на данный показатель, то во II ротации его действие было слабым, тогда как в I ротации он увеличился от известкования в среднем по опыту на 16%.

Показатель, который более интересен с практической точки зрения, это агрономическая окупаемость удобрения. И здесь стоит отметить, что как в I ротации, так и во II, известкование положительно повлияло на уровень окупаемости азота, обеспечив в среднем по вариантам опыта прибавку к не известкованному фону 20% в I ротации, и + 6% во II.

Следует отметить, что окупаемость азота в звене севооборота по вариантам опыта в I ротации была выше, чем во II, в среднем по фонам кислотности на 66%.

Что касается систем удобрения, то наибольшую окупаемость азота обеспечило применение 1-й органоминеральной системы удобрения (4-й вариант), как в I, так и во II ротациях севооборота. Также, в I ротации севооборота высокую окупаемость азота, сопоставимую с 1-й органоминеральной системой удобрения, обеспечило применение минеральной системы (3 вариант).

Заключение. Коэффициент использования азота удобрений (КИУ_N) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в большей мере зависел от применяемой системы удобрения и ротации севооборота, чем от уровня кислотности почвы. Применение систем удобрения в дозе по азоту 150 кг д.в./га, даже с учетом возврата части азота с соломой и азотфиксацией, не обеспечивало положительный баланс элемента питания. Тогда как увеличение количества вносимого азота при органоминеральной системе удобрения до 300 кг д.в./га и дополнительном поступлении с азотфиксацией и побочной частью растений позволило обеспечить положительный баланс элемента в почве и получить урожайность звена севооборота 115-156 ц з.е/га. Наибольшую агрономическую окупаемость единицы азота (21,6-34,2 кг з.е/кг д.в.) дало применение органоминеральной системы удобрения, в которой вносили 75 кг д.в./га с органической частью и равнозначное количество с минеральной частью в течении трех лет.

Литература

- Алешин М. А., Завалин А. А. Эффективность применения азотного удобрения в смешанных посевах гороха и пшеницы в севообороте // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 33- 48. DOI: 10.31857/S000218812111003X. EDN: CDZSMT.
- Алферов А. А., Завалин А. А., Кожемяков А. П., Чернова Л. С. Влияние удобрения и ризогрига на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, потоки азота в системе удобрение – почва – растение // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – № 9. – С. 10-15. DOI 10.24411/0235-2451-2019-10902. EDN TDVFE
- Беззодова И. Л., Коновалова Н. Ю., Прядильщикова Е. Н., Благовещенская Г. Г., Завалин А. А. Урожайность и качество зерна однодвоячного и смешанных посевов гороха при внесении минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 7. – С. 75 -79. EDN: WJXNXT
- Ерегин А. В., Власова О. А., Ерегина С. В. Изменение агрохимических показателей плодородия дерново-подзолистой почвы и урожайности культур звена полевого севооборота под действием систем удобрения и известкования // Материалы 57-й Всероссийской конференции с международным участием: Актуальные проблемы и инновационные решения в области агрохимии. Москва, 29. 11. 2023. – М.: ВНИИА, 2024. – С. 86 – 93. DOI 10.25680/VNIIA.2019.53.95.092
- Завалин А. А., Соколов О. А. Коэффициент использования азота удобрений и его регулирование // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 4. – С. 71 – 75. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070 EDN: XBVUUN .
- Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации / Саратов: ООО «Амирит», 2019. – 252 с. EDN: NFFWSG
- Кудряев В. Н. Эмиссионный фактор закиси азота при применении азотных удобрений в земледелии России // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 3-15. DOI: 10.31857/S0002188121110089 EDN: NVKEFT.
- Налиухин А. Н., Власова О. А., Ерегин А. В., Белозеров Д. А., Рыжкова А. А., Рябков А. В. Продуктивность почвы полевого севооборота при различных системах удобрения и известкования // Плодородие. – 2020. – № 4. – С. 30 -34. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.09 EDN: ETLXSL
- Наумченко Е. Т., Банецкая Е. В. Потребление азота яровой пшеницей на разных уровнях обеспеченности почвы подвижным фосфором // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 6. – С. 23-27. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ.
- Окорков В. В., Фенова О. А., Окоркова Л. А. Продуктивность севооборотов и использование азота, фосфора и калия из удобрений при их длительном применении в условиях Верхневолжья // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 10. – С. 61-65. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11014. EDN: YOCRTV.
- О переходе на новые климатические нормы [электронный ресурс: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/28963/>]. Дата обращения: 19.03.2024].
- Приказ Минсельхоза Российской Федерации № 330 от 06.07.2017 г. «Об утверждении коэффициентов перевода в зерновые единицы сельскохозяйственных культур».
- Шафран С. А., Ермаков А. А., Виноградова С. Б., Семенова А. И. Изменение плодородия почв Нечерноземной зоны за 50-летний период // Агрохимический вестник. – 2021. – № 5. – С. 3-7. DOI 10.24412/1029-2551-2021-5-001. EDN TNWLAA
- Han Z., Walter M. T., Drinkwater L. E. Impact of cover cropping and landscape positions on nitrous oxide emissions in northeastern US agroecosystems // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2017. – V.245. – P. 124-134. DOI: 10.1016/j.agee.2017.05.018. EDN: YFDMLU.

A.V. Eregin, Ph.D. State Center for Agrochemical Service «Vologodskiy»
 160555, Vologda, Molochnoye village, Studentskaya str., 11
 e-mail: al.eregin2018@yandex.ru; Tel.: (8172) 52 – 52 – 59

In a stationary field experiment on sod-podzolic light loamy soil, the use of an organo-mineral fertilizer system made it possible to increase the productivity of the field crop rotation link: vico-oat mixture – winter wheat – barley in the first rotation by 101% and in the second rotation by 73% relative to the non-fertilized variant. A positive nitrogen balance was achieved only when applying 300 kg/ha of nitrogen with fertilizer and 45-50% of the dose with the return of the element by nitrogen fixation and straw harvest. Nitrogen fertilizers were most fully used in the application of a fertilizer system consisting of manure, 50 t/ha+N₁₅₀P₁₂₀K₂₂₅. In the first rotation, the indicator was 85% on an unknown background and 100% on a limed background, similar indicators in the second rotation were 51% and 43%. The agronomic payback of nitrogen was the highest in the variant with the introduction of manure of 25 t/ha in combination with N₇₅P₆₀K₁₁₃ and averaged 32.1 kg in the I rotation and 21.4 kg in the II rotation.

УДК 631.811.98

DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.08

ЭКЗОГЕННЫЙ МЕЛАТОНИН КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

**О.А. Шаповал, д.с.-х.н., М.Т. Мухина, к.б.н., Р.А. Боровик, к.б.н.,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а, e-mail: elgen@mail.ru**

Изучалось влияние экзогенного мелатонина на эффективность и защищённость фотосинтетического аппарата яровой пшеницы в условиях полевого опыта. Фотосинтез – ключевой этап в формировании урожая и его качества. В полевых условиях растения постоянно подвержены целому комплексу неконтролируемых неблагоприятных факторов, которые негативно сказываются на эффективности фотосинтеза. В процессе формирования физиологической реакции на стресс хлоропласты подвергаются разрушающему воздействию реактивных форм кислорода и азота. Растения имеют систему внутренней защиты от возникновения свободных радикалов. Одним из её компонентов является мелатонин. Рабочая гипотеза состояла в том, что дополнительный экзогенный источник мелатонина позволит улучшить протекание фотосинтеза у пшеницы. Показано в результате исследований, что обработка пшеницы 0,0003%-ным раствором мелатонина по вегетации позволяет повысить стабильность фотосинтетических пигментов, увеличить эффективный выход флуоресценции и нефотохимическое регулируемое ее тушение, что свидетельствует о повышении эффективности и стабильности работы фотосинтетического аппарата яровой пшеницы.

Ключевые слова: мелатонин, яровая пшеница, стресс, фотосинтез, флуоресценция, хлорофилл, каротиноиды.

Для цитирования Шаповал О.А., Мухина М.Т., Боровик Р.А. Экзогенный мелатонин как фактор повышения эффективности и стабильности работы фотосинтетического аппарата пшеницы яровой в условиях полевого опыта // Плодородие. – 2024. – №4. – С. 37-41. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.08.

Важнейшая задача сельского хозяйства – создание оптимальных условий для выращивания культурных растений с целью получения больших объёмов качественной сельскохозяйственной продукции. Удовлетворение потребностей растений может осуществляться, с одной стороны, путём изменения условий внешней среды, с другой стороны, путём расширения диапазона толерантности растений и повышения устойчивости к стрессовым факторам среды с применением физиологически активных веществ. В практике сельского хозяйства целый ряд условий среды довольно динамичен и с трудом поддается своевременному контролю, например, заморозки весной, недостаточно тёплый или, наоборот, избыточно жаркий вегетационный период, кратковременный дефицит влаги и др. Неконтролируемый стресс может негативно сказаться на урожайности возделываемых культур и приводить к снижению качества получаемой продукции. Решением проблемы могут служить физиологически активные вещества, способные

защитить растительный организм от влияния неблагоприятных условий. Одним из таких веществ является мелатонин.

Мелатонин – вещество, синтезирующееся в клетках живых организмов всех царств. Однако в растениях он был открыт сравнительно недавно – в 1995 г. Биохимическая роль мелатонина в растительной клетке во многом остаётся предметом научных исследований и имеет множество дискуссионных аспектов. Тем не менее, ряд функций мелатонина в настоящее время установлен достаточно точно. Наиболее значимым способом функционирования мелатонина является участие в физиолого-биохимическом ответе растительной клетки на воздействие экзогенных стрессовых факторов, таких как высокие или низкие температуры, недостаток влаги, засоление и ряд других. Установлено, что главным маркёром и причиной нарушения метаболических процессов является образование различных форм свободных